Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 2, Summer 2023, p. 481-495

Effect of the Wild Eggplant Rootstock (*Solanum torvum*) on the Drought Tolerance of Tomato Based on the Growth Indecies and Physiological Parameters

D. Akhgar[1], H.R. Karimi[2]*, S.R. Sahhafi [3], S.H. Mirdehghan [4]

Received: 18-06-2022 Revised: 14-12-2022 Accepted: 14-12-2022 Available Online: 14-12-2022	**How to cite this article:** Akhgar, D., Karimi, H.R., Sahhafi, S.R., & Mirdehghan, S.H. (2023). Effect of the wild eggplant rootstock (*Solanum torvum*) on the drought tolerance of tomato based on the growth indecies and physiological parameters. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 481-495. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76513.1170

Introduction

Drought stress in tomatoes reduces fruit quality and yield, also fall leaves and cause of blossom rot. It has been reported that drought stress reduces cell division and causes the stomata to close, followed by a decrease in the flow of carbon dioxide to the mesophyll cells of the leaf. Several methods have been proposed to overcome the drought stress in tomato plants, which can be mentioned the use of drought tolerance genotypes, genetic engineering to identify drought resistant genes and transfer them to sensitive plants, as well as the use of tolerancet rootstocks. It has reported that type of rootstock can effected on tolerance of tomato plants to drought stress. For this reason, the present study was conducted to investigate the effect of wild eggplant rootstock on the drought tolerance of two tomato cultivars.

Material and Methods

In order to find the effect of the wild eggplant rootstock on the tolerance of two tomato cultivars, a factorial experiment was conducted as completely randomized design with two factors. Factors were included irrigation period three levels of 3 (control), 6 and 9-day and grafting combination at 6 levels involved non-grafted Dafnis, non-grafted Isabella, self-grafted Dafnis, self grafting Isabella, Isabella grafted on wild eggplant rootstock (*S. torvum*), and Dafnis grafted on wild eggplant rootstock. The plants were exposed to drought for 54 days. At the end of experiment growth and physiological parmeters including leaf specific, plant height dry weight of shoot as well as photosynthesis parameters, RWC and plant nutrients were measured. The amount of leaf proline was measured according to Paquin and Lichasur methodusing a spectrophotometer at a wavelength of 515 nm. The phenolic compounds of the leaves were measured at a wavelength of 725 nm using a spectrophotometer (Isfendiyaroglu and Zeker, 2002). Also, the membrane stability index (ion leakage percentage) was measured according to Lutts *et al*.'s method (Lutts *et al*., 1996).

Results and Discussion

The results showed that with increasing irrigation period decreased the most of vegetative parameters, photosynthesis pigments, and mineral nutrients, so that, the highest value was showed at the 3-day irrigation period

1, 2 and 4- M.Sc. Student and Professors, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, respectively.
(*- Corresponding Author: h.karimi214@vru.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
DOI: 10.22067/jhs.2022.76513.1170

and the lowest value was at the 9-day irrigation period. Shoot weight decrese is probably due to morphological changes in plant roots, which is a plant response to drought stress. The results also showed that the interaction of irrigation period and grafted combination on some vegetative and ecophysiological parameters was significant. The lowest dry weight of shoot was observed at 9-day of irrigation period in plants of Dafnis grafted on torvum rootstock., Tthe highest dry weight root volume, leaf potassium and phosphorous concentration were at the 3-day irrigation period in self-grafted Dafnis plants.The results also showed that the amount of phenolic compounds in plants of Isabella grafted on torvum rootstock was the highest in 9 days irrigation period which may be due to the rootstock effect on the synthesis of these compounds in the scion. According to the results, the concentration of leaf magnesium in non-grafted plants increased with the increase of the irrigation cycle from 3 days to 9 days, althougth no significant difference was observed between self-grafted and non-grafted plants. In the 9-day irrigation period, the highest concentration of leaf magnesium was observed to non-grafted Daphnis plants, which was significantly different from other grafting combinations compounds except Daphnis self-grafted plants.

Conclusion

The results of the present study showed that drought stress had the greatest effect on dry matter, and the amount of photosynthetic indices and pigments in tomato plants. Based on the results of the present study, it was found that the most of the reduce vegetative and physiological parameters was observed in Daphnis cultivar grafted on the thorum rootstock, were significantly reduced compared to self-grafted or non-grafted plants, which it was due to the dwarfing effects of this rootstock or grafting incompatibility. According to the results of the present study, it can be postulated that in drought stress Isabella cultivars grafted on the wild eggplant rootstock had more growh than other combination grafting. Hence it proposed more studies in this case.

Keywords: Dafnis, Grafted combination, Isabella, Irrigation period, *Torvum*

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص. ٤۹۵-٤۸۱

تاثیر پایه بادنجان وحشی (*Solanum torvum*) بر میزان تحمل به تنش خشکی گوجه‌فرنگی بر اساس شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی

دامون اخگر[۱]- حمید رضا کریمی[۲*]- سید رسول صحافی[۳]- سید حسین میردهقان[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر پایه بادنجان وحشی بر میزان تحمل به خشکی گوجه‌فرنگی رقم 'دافنیس' و 'ایزابلا'، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورها شامل دور آبیاری در سطح ۳ (شاهد)، ۶ و ۹ روز یکبار و فاکتور ترکیب پیوندی در شش سطح شامل غیرپیوندی 'دافنیس' و 'ایزابلا'، خودپیوندی 'دافنیس'، خودپیوندی 'ایزابلا'، پیوندک 'دافنیس' بر روی پایه بادنجان وحشی (توروومِ)، پیوندک 'ایزابلا' بر روی پایه بادنجان وحشی (توروومِ) بودند. در پایان تنش خشکی، پارامترهای رویشی شامل ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و همچنین پارامترهای فتوسنتزی، روابط آبی و عناصر غذایی گیاه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری اکثر پارامترهای رویشی و غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی کاهش یافت، به‌طوری که بالاترین مقدار با دور آبیاری ۳ روز و کمترین مقدار در دور آبیاری ۹ روز مشاهده شد همچنین برهمکنش دور آبیاری و ترکیب پیوندی بر برخی پارامترهای رویشی و اکوفیزیولوژیکی معنی‌دار شد بطوریکه کمترین میزان وزن خشک اندام‌هوایی در دور آبیاری ۹ روز در گیاهان پیوندی 'دافنیس' بر روی پایه 'تورووم' مشاهده شد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد ترکیب پیوندی 'ایزابلا' بر روی پایه تورووم مقاومت بالاتری به تنش خشکی داشت.

واژه‌های کلیدی: ایزابلا، ترکیب پیوندی، تورووم، دافنیس، دور آبیاری

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* Mill. یک سبزی میوه‌ای از خانواده بادنجانیان که به‌علت داشتن انواع ویتامین‌ها، اسیدهای آلی مفید، لیکوپن ، قند و املاح، نقش مهمی در سلامت انسان ایفا می‌کند (Kashi *et al*., 2008). گوجه فرنگی یکی از سبزی‌های زیر مجموعه محصولات باغبانی است که نیاز آبی بالایی دارد. تنش خشکی در گوجه فرنگی باعث کاهش کیفیت میوه، کاهش عملکرد، ریزش برگ‌ها، پوسیدگی گلگاه، پژمردگی سریع بوته و کوتاه شدن دوره زندگی آن می‌شود(Kirnak *et al*., 2001). همچنین گزارش شده است که خشکی موجب توقف فرآیندهای تقسیم و رشد سلولی، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جریان دی‌اکسیدکربن به سلول‌های مزوفیل برگ، کاهش جذب نیتروژن و فعالیت آنزیم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌شود. راهکارهای متعددی برای فائق آمدن بر تنش خشکی پیشنهاد شده است که می توان به استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم و سازگار به خشکی، مهندسی ژنتیک برای شناسایی ژن‌های مقاوم به خشکی و انتقال آن به گیاهان حساس و همچنین استفاده از پایه‌های مقاوم اشاره کرد (Asseng and Herwaarden, 2003). که در این بین ساده ترین و کاربردی

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادان گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: h.karimi214@vru.ac.ir)
۳- دانشیار گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

DOI: 10.22067/jhs.2022.76513.1170

ترین روش استفاده از ارقام و پایه‌های مقاوم می‌باشد. در پژوهش‌های متعددی از پایه‌های *S. sisymbriifolium*، *S. torvum*، *S. intergrifolium* و *S. toxicurium* به عنوان پایه‌های مورد استفاده برای گوجه‌فرنگی نام برده شده است (Goto *et al*., 2013). در پژوهشی گوجه‌فرنگی رقم ردتاپ[1] بر روی دو پایه بادنجان (بادنجان دلمه‌ای و بادنجان قلمی) پیوند شدند، و گزارش شد که گیاهان پیوندی نسبت به شاهد از رشد رویشی بهتری برخوردار بودند و استفاده از پایه بادنجان دلمه‌ای نتایج مطلوب‌تری در برداشت (Shahabi and Shirzadi, 2013). در پژوهش دیگری حسنی و سیدی (Hassani and Seidi, 2013) تأثیر پایه و رژیم های مختلف آبیاری را بر کیفیت و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم ارلی اورتانا مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که تکنیک پیوند در شرایط تنش کم آبی سبب افزایش عملکرد، افزایش طول و قطر میوه، افزایش کلروفیل a، کلروفیل b و کل شد. تسریع در گلدهی و میوه دهی، کاهش محتوای پرولین، کاهش پوسیدگی گلگاه از دیگر نتایج بدست آمده از این بررسی بود.

پایه بادنجان وحشی یا توروومم[2] بومی مناطق گرمسیری و استوایی است (Colla *et al*., 2010 a, b) که مقاومت بالایی به پاتوژن‌های خاکزی مثل ورتیسیلیوم و تنش‌های غرقابی و خشکی دارد. گزارش شده است که پایه توروومم در شرایط تنش خشکی باعث تأخیر در پژمردگی ناشی از تنش خشکی در اندام هوایی گوجه‌فرنگی ارقام سلبریتی و ۳۲۱۲ شد (Petran and Hoover, 2014). گوجه فرنگی یکی از محصولات باغبانی با نیاز آبی می باشد به‌طوری‌که کمیت و کیفیت آن تحت تاثیر دور آبیاری قرار می گیرد. از آنجایکه کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود و محدودیت منابع آبی یکی از عوامل محدود کننده تولید محصول می‌باشد (Ainigar Sadafi *et al*., 2015) مدیریت آب و استفاده از تکنیک های باغبانی مثل پیوند در راستای کاهش مصرف آب دارای اهمیت بالایی می‌باشد. پایه توروومم یکی از پایه‌های مورد پژوهش در کشورهای دیگر در این راستا می باشد اما تاکنون بررسی جامعی در این خصوص در ایران صورت نگرفته است لذا با توجه به موارد عنوان شده پژوهش حاضر با هدف تأثیر پایه بادنجان وحشی بر مقاومت به خشکی دو رقم گوجه‌فرنگی 'دافنیس' و 'ایزابلا' به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به اجرا در آمد. عامل‌ها شامل دور آبیاری (عامل اصلی) در سه سطح ۳ (شاهد)، ۶ و ۹ روز یکبار و ترکیب پیوندی (عامل فرعی) در ۶ سطح شامل ۱) غیر پیوندی 'دافنیس'، ۲) غیر پیوندی 'ایزابلا'، ۳) پیوندک 'دافنیس' × پایه 'دافنیس' (خود پیوندی)، ۴) پیوندک دافنیس × پایه بادنجان وحشی (توروومم)، ۵) پیوندک ایزابلا × پایه 'ایزابلا' (خود پیوندی)، ۶) پیوندک 'ایزابلا' × پایه بادنجان وحشی(توروومم) بود. در طول آزمایش متوسط دمای روزانه و شبانه گلخانه به‌ترتیب ۲۵ و ۱۶ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۶۵ درصد یادداشت برداری شد.

تهیه پایه و پیوندک: بذرهای گیاه مادری توروومم در شرایط کشت بافت بر روی محیط موراشیکی و اسکوک) جوانه زنی شدند و بعد از انتقال به گلدان و رشد کافی (۶-۵ برگی) بوته‌های مادری، عمل سربرداری به‌منظور تولید قلمه صورت پذیرفت. بعد از رشد کافی شاخه‌ها، قلمه‌های علفی به طول ۱۵ سانتی‌متر با دو برگ تهیه شدند و ته قلمه‌ها با اکسین به غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت یک دقیقه تیمار شدند و در بستر کشت حاوی پرلایت زیر سیستم مه‌پاش ریشه دار شدند. سپس قلمه‌های ریشه دار شده به گلدان‌های ۴ لیتری حاوی مخلوط ماسه، پرلایت و کوکوپیت به نسبت ۱:۱:۲ انتقال و تا زمان انجام پیوند با محلول هوگلند تغذیه شدند. همچنین بذور گوجه‌فرنگی رقم 'دافنیس' و 'ایزابلا' تهیه شده از شرکت پاکان بذر جهت تولید پایه و پیوندک در سینی‌های کشت، کشت شدند و در مرحله دو برگی به گلدان‌های حاوی مخلوط فوق انتقال داده شدند.

انجام پیوند و مراقبت‌های لازم: عملیات پیوند پس از استقرار کامل و مرحله ۴ برگی پایه‌ها صورت پذیرفت. پیوند از نوع اسکنه و بصورت خودپیوندی و دگرپیوندی روی پایه توروومم و دو رقم گوجه‌فرنگی 'دافنیس' و 'ایزابلا' انجام شد. جهت تسریع در گیرایی پیوند، گیاهان پیوندی به محیطی با۵۰ درصد روشنایی و رطوبت نسبی ۹۰-۸۰ درصد انتقال داده شدند و پس از گیرایی پیوند که بین ۱۰ تا ۱۵ روز به‌طول انجامید، سازگارسازی گیاهان با محیط گلخانه آغاز شد.

اعمال تیمار خشکی: اعمال تنش خشکی ۳۰ روز بعد از پیوند صورت پذیرفت به این‌صورت که بوته‌ها بسته به نوع تیمار با دور آبیاری ۳ (شاهد)، ۶ و ۹ روز به میزان ۳۵۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان آبیاری شدند. گیاهان به مدت ۵۴ روز تحت تیمار خشکی قرار گرفتند و بعد از آن پارامترهای زیر اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری پارامترها

پارامترهای رویشی: پارامترهای رویشی اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل سطح ویژه برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی بودند. سطح ویژه برگ از نسبت سطح برگ بر وزن خشک بدست آمد و برای اندازه گیری سطح برگ از دستگاه سنجش سطح

1- Redtop
2- *Solanum torvum*

برگ (مدل IP-330-81D100J5AK ساخت کشور ایران، شرکت رایان اندیش آوات) استفاده شد و سطح برگ بر حسب سانتی‌مترمربع گزارش شد برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بعد وزن شدند.

پارامترهای فیزیولوژیکی: پارامترهای فیزیولوژیکی مورد اندازه‌گیری شامل پارامترهای فتوسنتزی و پارامترهای مربوط به روابط آبی گیاه بود. سنجش میزان کلروفیل کل برگ براساس روش آرنون (Arnon, 1949) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS , T80 PG Instruments, UK) در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. محتوای نسبی آب برگ[1] (RWC) از روش وریچ و همکاران (Waraich *et al.*, 2011) محاسبه شد.

تنظیم کننده‌های اسمزی و شاخص پایداری غشاء: میزان پرولین بر اساس روش پاکویین و لیچاسور (Paquin and Lechasseur, 1979) و میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار ترکیبات فنلی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Isfendiyaroglu and Zeker, 2002) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر قرائت گردید. همچنین شاخص پایداری غشاء (در صد نشت یونی) بر اساس روش لوتس و همکاران (Lutts *et al.*, 1996) محاسبه شد.

غلظت عناصر غذایی برگ: عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل پتاسیم به روش جذب اتمی (Ghazanshahi, 2006) با دستگاه شعله سنج[2] (PEP7, Jenwyay, Germany)، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون (Estefan *et al.*, 2013) و فسفر به روش گوپتا (Gupta *et al.*, 1993) و میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر (GBC avant ساخت کشور ایتالیا) در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد.

تجزیه آماری: تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری SAS (Version 9.4) صورت پذیرفت. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن[3] در سطح احتمال ۵ در صد استفاده شد، و همچنین نمودارها با نرم‌افزار Excel 2010 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دور آبیاری و ترکیب پیوندی بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد ($p\leq۰/۰۱$) معنی‌دار شد. ولی برهمکنش بین دور آبیاری و ترکیب پیوندی بر ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته کاهش یافت (شکل ۳–A). در بین ترکیبات پیوندی بیشترین ارتفاع بوته مربوط به گوجه‌فرنگی غیرپیوندی ایزابلا بود که با خودپیوندی ایزابلا اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میانگین ارتفاع بوته در ترکیب پیوندی تورووم × دافنیس مشاهده شد (شکل ۴–A). تنش خشکی در مراحل ابتدایی رشد طولی و عرضی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رشد سلول حساس‌ترین فرایند گیاه تحت تأثیر تنش خشکی است زیرا فشار آماس به‌عنوان نیروی فیزیولوژیکی برای توسعه سلول است (Asseng and van Herwaarden, 2003). همچنین این امکان وجود دارد که با پیوند زدن حرکت اکسین بطرف پایین کاهش یافته و سنتز سایتوکنین در ریشه کمتر شده در نتیجه رشد هوایی کاهش یافته و کاهش ارتفاع ایجاد می‌شود (Gregorian, 2002). گزارش شده است که رقم‌های گوجه‌فرنگی پیوند شده سروو[4]، کارینا[5] و تیموتی[6] بر روی پایه بادنجان وحشی دارای ارتفاع کوتاه‌تری نسبت به شاهد بودند که در راستای پژوهش فوق می‌باشد (Latifah *et al.*, 2021).

سطح ویژه برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثر ترکیب پیوندی بر سطح ویژه برگ در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq۰/۰۵$) معنی‌دار بود و اثر دور آبیاری و اثر متقابل دورآبیاری و ترکیب پیوندی معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین سطح ویژه برگ در ترکیب پیوندی تورووم × دافنیس مشاهده شد و بین سایر ترکیبات پیوندی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴–B). تنش خشکی بر سطح ویژه برگ اثری نداشت. سطح ویژه برگ منعکس کننده ضخامت برگ است و ضخامت برگ انعکاس مقدار اندامک‌های فتوسنتزی و میزان فتوسنتز است. یکی از عوامل تاثیرگذار بر سطح ویژه برگ در گیاهان پیوندی، میزان هورمون سایتوکینین سنتز شده در ریشه و میزان انتقال آن به اندام‌هوایی می‌باشد که از طریق تاثیر بر تقسیم سلولی یا بهبود فتوسنتز برگ از طریق حفظ کلروفیل برگ بر میزان رشد برگ تاثیر گذار است از آنجایی که محل سنتز سیتوکنین ریشه می‌باشد این احتمال وجود دارد که پایه از طریق تأثیر بر سنتز این هورمون بر سطح ویژه برگ تأثیرگذار بوده است (Germana, 1997).

1- Relative Water Content
2- Flamephotomete
3- Duncan
4- Cervo
5- Karina
6- Timoty

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و ترکیب پیوندی بر صفات رویشی گوجه‌فرنگی

Table 1- ANOVA for the effect of irrigation period and grafting combination on the growth parameters of tomato plants

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		ارتفاع گیاه Plant height	سطح ویژه برگ Specific leaf area	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
دورآبیاری Irrigation period (I)	2	8534.178**	10140.239 ns	8555.688 **	6.338 **
ترکیب پیوندی Graftting combination (G)	5	1391.155**	10927.151 *	148.01 **	0.666 *
G ×I	10	118.604 ns	3200.586 ns	58.451 *	0.437 *
خطا Error	54	71.063	3840.371	27.623	0.216
ضریب تغییرات CV (%)	–	11.98	17.37	14.05	29.85

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار

* and ** : significant at the 5% and 1% of probability levels, and ns :non-significant, respectively.

در پژوهشی رشد و عملکرد سه رقم گوجه‌فرنگی بر روی سه پایه بادنجان محلی منطقه اندونزی بنام‌های ای‌جی۲۰۳[1]، گلاتیک[2] و بادنجان وحشی[3] را در ۴ مرحله رشدی ۴، ۶، ۸ و ۱۰ هفتگی بررسی و گزارش شد در ۴ هفتگی پیوندک تیموتی بر روی پایه بادنجان وحشی تورووم بالاترین سطح ویژه برگ را نسبت به غیر پیوندی 'تیموتی' (شاهد) داشت (Latifah *et al*., 2021).

وزن خشک اندام هوایی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال یک در صد ($p\leq۰/۰۱$) و اثر اصلی ترکیب پیوندی و برهمکنش دور آبیاری و ترکیب پیوندی در سطح احتمال پنج در صد ($p\leq۰/۰۵$) بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار شدند (جدول ۱). بر اساس مقایسه‌ی میانگین‌های اثرات متقابل وزن خشک اندام هوایی، با افزایش دور آبیاری از ۳ به ۶ روز، وزن خشک در تمام ترکیبات پیوندی به جز ترکیب پیوندی 'دافنیس' بر روی تورووم کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. با افزایش دور آبیاری از ۶ به ۹ روز تفاوت معنی‌داری بین ترکیبات پیوندی از لحاظ وزن خشک ریشه مشاهده نشد (شکل ۱-A). کاهش وزن خشک اندام هوایی احتمالاً به‌دلیل تغییرات مورفولوژیک ریشه گیاهان باشد که در واقع نوعی پاسخ گیاه به تنش خشکی است (Molavi *et al*., 2012). با افزایش فشار اسمزی ناشی از تنش، رشد ریشه و اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد در نتیجه وزن خشک اندام‌هوایی کاهش می‌یابد. هورمون‌های گیاهی مهمترین عامل‌های درونی در گیاه هستند که همه جنبه‌های رشد و نمو رویشی و زایشی گیاه را تنظیم می‌کنند، بنابراین باور بر این است که نقش مهمی در ارتباط ریشه با اندام‌های هوایی ایفا می‌کنند، گیاهانی با سیستم ریشه‌ای ضعیف، سایتوکینین کمتری را به درون آوندچوبی رها می‌کنند و در نتیجه عملکرد را به‌دلیل القاء رشد رویشی کمتر به اندام‌های هوایی، کاهش می‌دهند. در پژوهشی تاثیر و عملکرد پایه فلفل هیبرید رقم 'نیبر'[4] بر پیوندک فلفل دلمه‌ای رقم 'مسترال‌اف۱'[5] در دو سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد) و ۵۰ درصد نیاز آبی (کم آبیاری)، بررسی شد و گزارش شد که فقط اثر دور آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی تاثیر معنی‌دار داشت ولی بین گیاهان غیرپیوندی و پیوندی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (Gisbert-Mullor., 2020).

وزن خشک ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال یک در صد ($p\leq۰/۰۱$) و اثر اصلی ترکیب پیوندی و برهمکنش دور آبیاری و ترکیب پیوندی در سطح احتمال پنج در صد ($p\leq۰/۰۵$) بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شدند (جدول ۱). مقایسه‌ی

1- EG203
2- Gelatik
3- *Solanum torvum*

4 NIBER
5 Maestral F1

میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۳ به ۶ روز وزن خشک ریشه تمام ترکیبات پیوندی به جز ترکیب پیوندی 'دافنیس' بر روی تورووم کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت در دور آبیاری ۳ روز (شاهد) ترکیب پیوندی 'دافنیس' بر روی پایه تورووم همراه با کاهش وزن ریشه بود این در حالی است که بین ترکیبات پیوندی ایزابلا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱–B). وزن خشک ریشه در دور آبیاری ۶ روز در تمام ترکیبات بجز ترکیب دگر پیوندی دافنیس کاهش داشت. با افزایش دور آبیاری از ۶ به ۹ روز وزن خشک ریشه تغییری نداشت که ممکن است به‌دلیل کاهش عکس‌العمل گیاه به شرایط تنش باشد (Ainigar Sadafi *et al.*, 2015). در پژوهشی تأثیر پایه‌های بیوفورت و شید[1] بر مقاومت گوجه‌فرنگی به تنش آبی بررسی و گزارش شد که با افزایش دور آبیاری وزن خشک ریشه کاهش یافت (Suchoff *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر وزن خشک ریشه در ترکیب پیوندی 'دافنیس' بر روی پایه تورووم تحت تأثیر تنش واقع نشد که نشان دهنده عدم واکنش‌پذیری ترکیب پیوندی فوق به تنش خشکی است. از آنجایی که رشد گیاه بستگی به تأمین کربوهیدرات‌های مورد لزوم از شاخه‌ها و قسمت هوایی است لذا عوامل محدود کننده فتوسنتز از قبیل نور و آب علاوه بر کاهش عملکرد گیاه، رشد ریشه را نیز تقلیل می‌دهند (Keshavarznia *et al.*, 2014). لذا دلیل اصلی اختلاف در وزن خشک ریشه در ترکیب‌های پیوندی مختلف در تیمارهای آبیاری را می‌توان به تنش آبی مرتبط دانست.

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی دور آبیاری و ترکیب پیوندی در سطح احتمال یک در صد ($p\leq ۰/۰۱$) و اثرات متقابل دور آبیاری و ترکیب پیوندی در سطح پنج درصد ($p\leq ۰/۵$) بر صفت کلروفیل کل معنی‌دار شدند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۳ به ۶ روز میزان کلروفیل کل در تمام ترکیب‌های پیوندی به جز دگر پیوندی 'دافنیس' نسبت به شاهد کاهش داشت. در دور آبیاری ۹ روز میزان کلروفیل کل در گیاهان غیرپیوندی نسبت به دور آبیاری ۶ روز افزایش معنی‌داری داشت بطوری‌که بالاترین میزان کلروفیل کل در گیاهان دگر پیوندی مشاهده شد (شکل ۱–C). کاهش کلروفیل برگی در شرایط تنش می‌تواند به خاطر کاهش انتقال ازت به سمت بافت‌ها و تغییر در فعالیت آنزیم هایی مانند نیترات‌ردوکتاز باشد. علاوه بر این کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی به فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز، پراکسیداز و همچنین تغییر در متابولیسم پرولین و تغییر در ساختار تیلاکویید و کلروپلاست نسبت داده‌اند (Ruiz *et al.*, 1997).

گزارش شده است که تنش خشکی سبب کاهش کلروفیل a و b در دو رقم گوجه‌فرنگی ارلی و ارلی اربانا شد (Shahbazi *et al.*, 2014).

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال یک در صد ($p\leq ۰/۰۱$) و اثر اصلی ترکیب پیوندی و اثرات متقابل در سطح احتمال پنج در صد ($p\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار شدند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۳ به ۶ روز محتوای نسبی آب برگ در گیاهان خودپیوندی کاهش پیدا کرد. افزایش دور آبیاری به ۹ روز سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاهان دگرپیوندی 'دافنیس' شد در صورتی‌که بین گیاهان دگر پیوندی ایزابلا با شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱–D). این مسئله اثرات بیشتر پایه تورووم بر روی رقم ایزابلا و اثرات متقابل پایه و پیوندک را نشان می‌دهد. محققین نیز یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ بقاء گیاهان در شرایط تنش را قدرت بالای گیاه در حفظ آب سلولی می‌دانند (Salisbury and Ross, 1991). در شرایط تنش خشکی از سوی ریشه سیگنال‌های شیمیایی (اسید آبسزیک) به اندام هوایی ارسال می‌شود و روزنه‌ها بسته و تعرق کاهش می‌یابد در نتیجه آب جذب نمی‌شود و بدنبال آن محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Wang, 2011). محمودنیا و همکاران (Mahmoudnia *et al.*, 2012) در پژوهشی پاسخ‌های فیزیولوژیکی ۴ گونه گوجه‌فرنگی زراعی[2]، پنلی[3]، چیلنس[4] و هرسوتوم[5] در دو سطح آبیاری (ظرفیت زراعی و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و ۴ دوره زمانی (قبل از تنش، ۱۰ روز بعد از تنش، ۲۰ روز بعد از تنش و بازیابی) بررسی کردند و گزارش دادند که بیشترین کاهش محتوای نسبی آب برگ در ارقام زراعی تحت کشت و کمترین در گونه‌های وحشی مشاهده شد. بنابراین بالاتر بودن محتوای نسبی آب برگ در ترکیب پیوندی ایزابلا بر روی پایه تورووم را می‌توان به راندمان جذب آب بهتر پایه تورووم نسبت داد که با پژوهش حاضر مطابقت داد.

پرولین

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثر اصلی ترکیب پیوندی و اثر متقابل دور آبیاری و ترکیب پیوندی در سطح احتمال یک درصد ($p\leq ۰/۰۱$) بر صفت میزان ترکیبات فنلی برگ معنی‌دار شدند و اثر مستقل دور آبیاری بر میزان ترکیبات فنلی معنی‌دار نشد (جدول ۲). با

1- Shield

2- *Lycopersicon esculentum*
3- *L. pennellii*
4- *L. chilense*
5- *L. hirsutum*

افزایش دور آبیاری میزان پرولین نیز افزایش یافته و در شرایط تنش بیشترین میزان پرولین در گیاهان دگرپیوندی ایزابلا مشاهده شد (شکل ۲-A). یکی از مکانیسم‌های کارآمد که به هنگام مواجه شدن با خشکی برای حفظ تورژسانس و آماس سلولی در گیاهان به وجود می‌آید، تنظیم اسمزی است. تنظیم اسمزی در اثر انباشت ترکیبات آلی و معدنی در بافت‌ها انجام می‌شود (Patakas *et al*., 2002). پرولین اسیدآمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده و احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد. تجمع پرولین علاوه بر ایجاد تعادل اسمزی، عامل حفاظت کننده غشاها، پروتئین‌ها و ساختارهای درون سلولی و حذف کننده رادیکال‌های آزاد است (Farooq *et al*., 2009) یکی از دلایل افزایش پرولین در پژوهش حاضر، کاهش تبدیل آن به پروتئین یا کاهش تخریب آن توسط آنزیم پرولین دهیدروژناز است (Delauney and Verma, 2002; Alc-ázar *et al*., 2010).

نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی دور آبیاری و اثر متقابل ترکیب پیوندی و دور آبیاری بر صفت نشت یونی در سطح احتمال یک در صد ($p\leq$۰/۰۱) معنی‌دار شد اما اثر مستقل ترکیب پیوندی بر صفت مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان داد که با افزایش دور آبیاری از ۳ به ۶ روز میزان نشت یونی در تمام ترکیبات پیوندی افزایش یافت اگرچه در این دور از آبیاری بین ترکیبات پیوندی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲-C). اگرچه مقدار نشت یونی با افزایش دور آبیاری از ۶ به ۹ روز افزایش پیدا کرد اما در این دور آبیاری ترکیب پیوندی 'دافنیس' × تورووم کمترین نشت یونی را داشت. در تنش‌های شدید قسمت‌هایی از فسفولیپیدهای غشاء تغییر حالت داده و ساختار غشاء به ساختار منفذدار تبدیل می‌شود و نشت یونی رخ می‌دهد و باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و متعاقب آن کاهش شاخص پایداری غشاء سلول در گیاهان مختلف می‌شود. میزان نشت یونی سلول در شرایط تنش خشکی نشان دهنده میزان آسیب وارد شده به غشای سلول است و به‌عنوان شاخصی برای تحمل به خشکی بیان می‌شود (Waraich *et al*., 2011) در پژوهشی بادنجان رقم تیورماف[1] تحت ۴ تیمار رژیم رطوبتی ۱۰۰ (کنترل)، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت گلدانی قرار داده شد، نتایج نشان داد که گیاهان در ۴۰ درصد رژیم رطوبتی بالاترین نشت یونی را داشتند (Kirnak *et al*., 2001) نتایج پژوهش حاضر در راستای نتایج فوق می باشد.

ترکیبات فنلی

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ترکیب پیوندی و اثر متقابل دور آبیاری و ترکیب پیوندی در سطح احتمال یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) بر میزان ترکیبات فنلی برگ معنی‌دار شدند و اثر مستقل دور آبیاری بر میزان ترکیبات فنلی معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میزان ترکیبات فنلی در ترکیب پیوندی تورووم × ایزابلا در دور آبیاری ۹ روز بالاترین میزان بود (شکل ۲-B) که ممکن است به‌دلیل تأثیر پایه بر سنتز این ترکیبات در پیوندک باشد. تنش خشکی به‌علت تضعیف سیستم ایمنی ترکیبات فنلی را افزایش داده تا بتواند علاوه بر خاصیت آنتی اکسیداتی این ترکیبات، واکنش‌های دفاعی مناسبی را در برابر حمله میکروارگانیسم‌ها در پیش گیرد. به‌طور کلی، ارقام و ژنوتیپ‌هایی که میزان ترکیبات فنلی آن‌ها بیشتر است، اغلب به‌عنوان رقم و ژنوتیپ مقاوم به شرایط تنش خشکی معرفی می‌شوند (Salisbury and Ross, 1991).

منیزیم برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی دور آبیاری و ترکیب پیوندی و اثرات متقابل دور آبیاری و ترکیب پیوندی در سطح احتمال ($p\leq$۰/۰۱) بر غلظت منیزیم برگ معنی دار شد (جدول ۱). بنابر نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها میزان منیزیم برگ در گیاهان غیرپیوندی با افزایش دور آبیاری از ۳ روز به ۹ روز افزایش یافت. درصورتی‌که در این ارتباط بین گیاهان خود پیوندی و دگر پیوندی تفاوت معنی داری مشاهده نشد. در دور آبیاری ۹ روز، بیشترین غلظت منیزیم برگ مربوط به گیاهان غیر پیوندی دافنیس بود که با سایر ترکیبات به جز گیاهان خودپیوندی 'دافنیس' تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۲-D). بر اساس نتایج می‌توان بیان کرد که پیوند باعث کاهش میزان منیزیم برگ شده است. کاهش، افزایش و عدم تغییر در میزان منیزیم گیاه، تحت تنش خشکی، در برخی مطالعات گزارش شده است (Smolinski and Pestka, 2003). در پژوهشی ارقام کریمسون تاید[2] و کریسبی[3] هندوانه بر روی ۴ رقم کدو به‌نام‌های فرو[4]، آر اس۸۴۱[5]، آرژنتاریو[6] و ماسیز[7] پیوند شدند و گزارش شد که تمام ترکیب‌های پیوندی به جزء کریسبی بر روی پایه فرو، سبب افزایش منیزیم برگ شدند (Yetisir *et al*., 2013).

1- *Solanum melongena* L. ev., teorem F1

2- Crimson Tide
3- Crisby
4- Feroo
5- Rs841
6- Argentario
7- Macis

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به اثر دور آبیاری و ترکیب پیوندی بر میزان کلروفیل کل، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پرولین و ترکیبات فنولی گیاه گوجه‌فرنگی

Table 2- ANOVA for the effect of irrigation period and grafting combination on the total chlorophyll, relative water content, Ion leakage, proline and phenolic compounds of tomato plants

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Means squares		
		کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	نشت یونی Ion leakage
دورآبیاری Irrigation period (I)	2	4.151 **	555.844 **	1756.647**
ترکیب پیوندی graftting combination (G)	5	0.699 **	155.562 **	72.061 ns
G ×I	10	0.332 *	86.888 *	238.032**
خطا Error	54	0.157	42.310	86.067
ضریب تغییرات CV (%)	-	16.82	8.53	15.49

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	پرولین Proline	ترکیبات فنلی Phenolic compounds
دورآبیاری Irrigation period (I)	2	1.905 **	0.000 ns
ترکیب پیوندی Grafting combination (G)	5	0.579 **	0.009 **
G ×I	10	0.323 **	0.004 **
خطا Error	54	0.094	0.001
ضریب تغییرات CV (%)	-	19.17	19.53

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار.

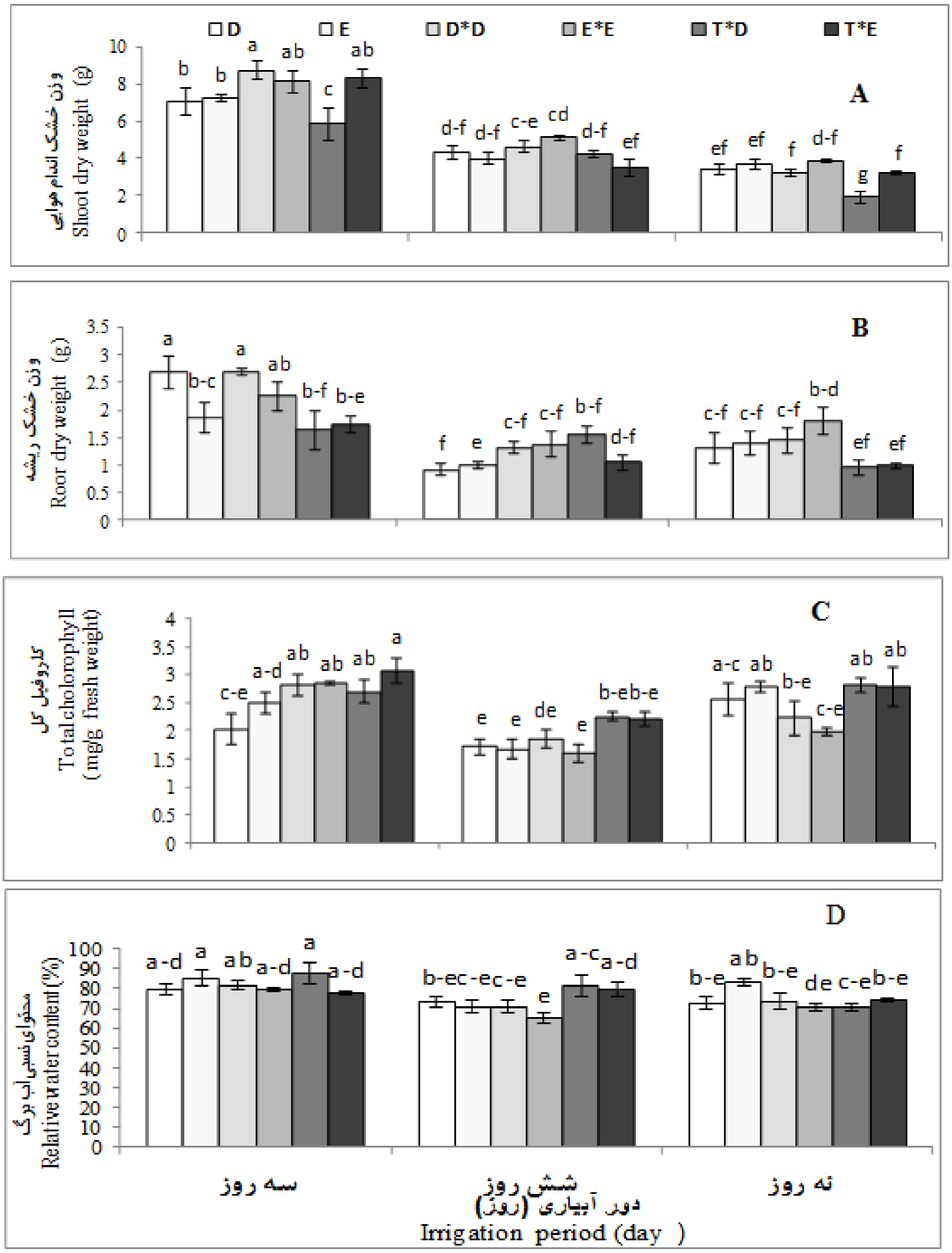
* and ** :significant at the 5% and 1% of probability levels and ns: no-significant, respectivety.

در پژوهشی ارلیک و همکاران (Urlic *et al*., 2020) اثر تنش خشکی بر روی دو رقم گوجه‌فرنگی پیوندی بل[1] و کلارابلا[2] در گلخانه تجاری را با دو تیمار، آبیاری نیمی از ریشه‌ها و آبیاری کامل ریشه‌ها (با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای) و ۶ ترکیب پیوندی شامل غیرپیوندی، خودپیوندی و دگرپیوندی (دو رقم بر روی پایه هیمن) بررسی کردند و گزارش کردند که در شرایط آبیاری نیمی از ریشه‌ها، میزان کلسیم و منیزیم برگ‌ها افزایش داشت که این نتایج با پژوهش حاضر در یک راستا نمی‌باشد.

کلسیم برگ

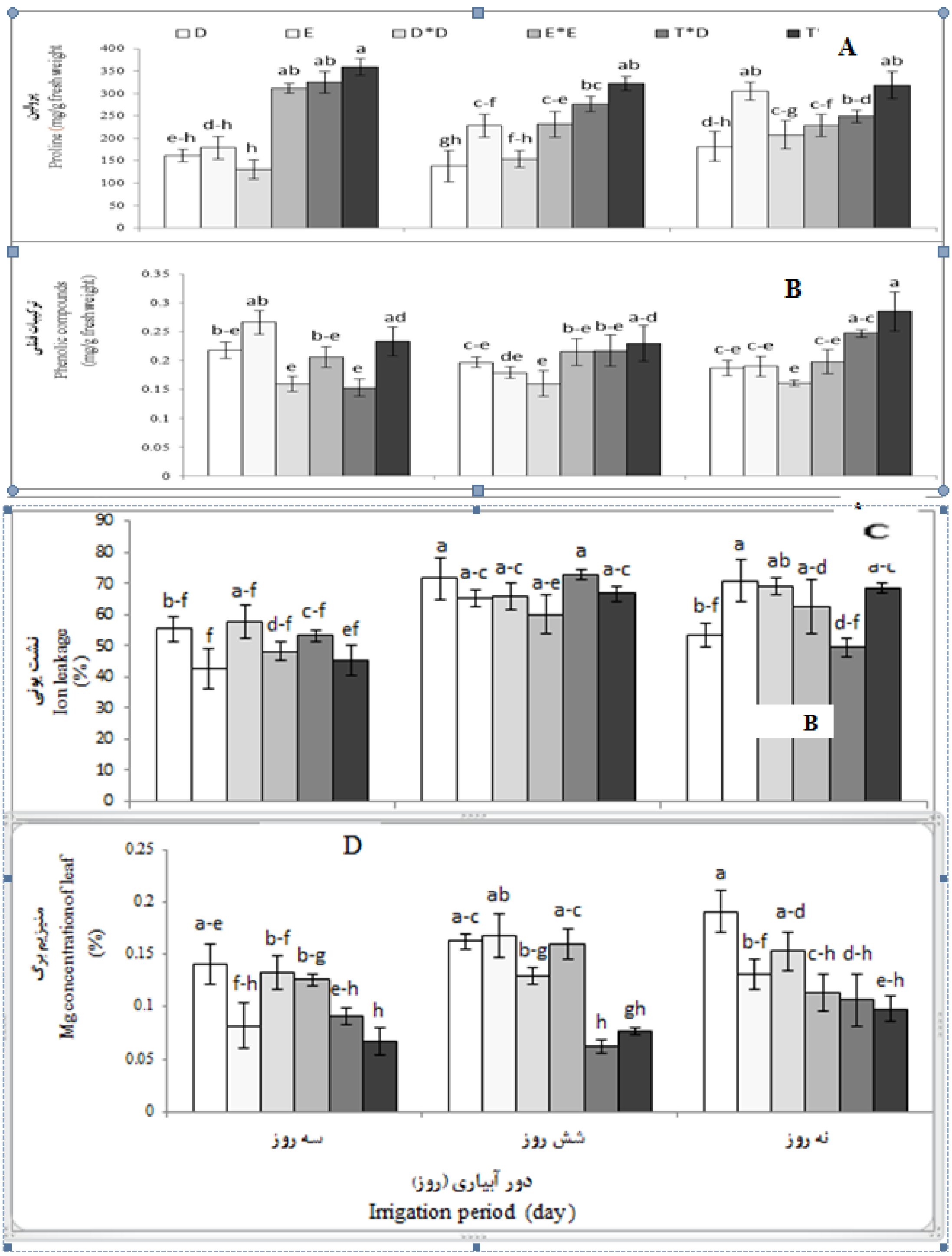
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر اصلی دور آبیاری در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq ۰/۰۵$) و اثر اصلی ترکیب پیوندی در سطح احتمال یک درصد ($p\leq ۰/۰۱$) بر غلظت کلسیم برگ معنی‌دار شدند. در دور آبیاری ۶ روز میزان کلسیم برگ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳-B). مقایسه ترکیب‌هایی پیوندی نشان داد که بالاترین میزان کلسیم در گیاهان غیرپیوندی و خودپیوندی در هر دو رقم مشاهده شد این در حالی است که گیاهان دگرپیوندی دارای کلسیم کمتری بودند (شکل ۴-C). کلسیم عمدتا با جریان توده‌ای به سطح ریشه گیاه منتقل و جذب می‌شود. کمبود میزان رطوبت خاک باعث محدود شدن انتقال کلسیم به سطح ریشه شده و در نتیجه جذب آن کاهش می‌یابد.

1- Belle
2- Clarabella



شکل ۱- برهمکنش دور آبیاری × ترکیب پیوندی بر وزن خشک اندام هوایی (A)، وزن خشک ریشه (B)، کلروفیل کل (C) و محتوای نسبی آب برگ (D) در دو رقم گوجه‌فرنگی. D: 'دافنیس'، E: 'ایزابلا' و T: 'توروم'

Figure 1- Interaction effect of irrigation period ×graftting combination on shoot dry weight (A), root dry weight (B), total cholorophyll (C), and realative water content (D) of two tomato varieties: D: 'Daphnis', E: 'Ezabella', T: 'Torvum' (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۲- برهمکنش دور آبیاری × ترکیب پیوندی بر میزان پرولین (A)، ترکیبات فنلی (B)، نشت یونی (C) و منیزیم برگ (D) در دو رقم گوجه‌فرنگی. 'دافنیس'، E: 'ایزابلا' و T: 'تورووم'

Figure 2- Interaction effect of irrigation period ×graftting combination on proline (A), phenolic compound (B), Ion leakage (C), and Mg concentration of leaf (D). D: 'Daphnis', E: 'Ezabella', T: 'Torvum' (DMRT, $p \leq 0.05$).

کاهش تبخیر و تعرق توسط گیاه در شرایط تنش خشکی نیز دلیل دیگری بر کاهش جذب و توزیع کلسیم در گیاه می‌باشد (Keshavarznia *et al*., 2014). بنابراین کاهش میزان کلسیم در پژوهش حاضر در گیاهان دگرپیوندی را می‌توان به کاهش سطح برگ پیوندک به دلیل اثرات پایه توروومو نسبت داد.

پتاسیم برگ

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی ترکیب پیوندی در سطح احتمال یک در صد ($p\leq0/01$) و همچنین اثر مستقل دور آبیاری در سطح احتمال پنج درصد ($p\leq0/05$) بر غلظت پتاسیم برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری از ۳ به ۶ روز، میزان پتاسیم برگ افزایش پیدا کرد ولی با افزایش دور آبیاری از ۶ روز به ۹ روز تغییری در میزان پتاسیم حاصل نشد (شکل ۳-C).کمترین مقدار پتاسیم در ترکیب توروومو × ایزابلا مشاهده شد در حالی که سایر ترکیبات پیوندی با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. در پژوهش حاضر پیوند ایزابلا بر روی پایه توروومو باعث کاهش پتاسیم برگ شد (شکل ۴-D). افزایش پتاسیم برگ در دور آبیاری ۶ روز نسبت به شاهد را می‌توان به‌دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزنه دانست (Shokrani and Pirzad, 2012). همچنین گزارش شد که علت افزایش جذب پتاسیم تحت شرایط خشکی را می‌توان به مکانیسم جذب فعال این یون به‌وسیله گیاه نسبت داد که بدین وسیله مقاومت خود را در برابر تنش بالا می‌برد. همچنین دلیل پایین بودن مقدار پتاسیم در ترکیب پیوندی توروومو × ایزابلا را می توان به نقش پایه در جذب این عنصر دانست (Yetisir *et al*., 2013).

فسفر برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی دور آبیاری و ترکیب پیوندی بر میزان فسفر برگ در سطح احتمال پنج در صد ($p\leq0/05$) معنی دار شد. ولی اثرات متقابل بر میزان صفت مذبور معنی‌دار نشد (جدول ۳). با افزایش دور آبیاری میزان فسفر برگ افزایش پیدا کرد اما بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳-D). در رقم ایزابلا پایه توروومو باعث کاهش میزان فسفر برگ نسبت به ترکیبات غیرپیوندی و خودپیوندی آن شد اما در رقم دافنیس، ترکیبات دگرپیوندی و خود پیوندی با غیرپیوندی اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۴-E). از مهمترین سازوکارها می‌توان به کارکرد مؤثرتر ناقلین مسئول جذب فسفات، افزایش جذب فسفر به‌دنبال توسعه بیشتر ریشه‌ها و آزادسازی بیشتر ترکیبات حل‌کننده فسفات نامحلول به خاک اشاره کرد (Rodrigues *et al*., 2010). در بررسی تأثیر دو پایه مختلف روی جذب و محتوای عنصرهای غذایی اصلی (ماکرو) در برگ‌های خربزه و طالبی گزارش شده است که غلظت فسفر، پتاسیم و به‌ویژه نیتروژن در برگ‌های گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی بیشتر بود که دلیل آن را به تأثیر پایه نسبت دادند (Rodrigues *et al*., 2010). هانگ و همکاران (Huang *et al*., 2013) تفاوت معنی‌داری در غلظت فسفر در برگ‌ها و میوه‌های خیارهای پیوندی روی دو پایه مختلف مشاهده نکردند که در راستای پژوهش فوق مبنی بر عدم تاثیر پایه در غلظت فسفر برگ در رقم دافنیس است. ویژگی‌های ریخت شناختی ریشه تنها عامل مؤثر روی جذب و انتقال فسفر در گیاه نبوده و باید نژادگان پیوندک و گونه گیاهی نیز بایستی در نظر گرفته شود

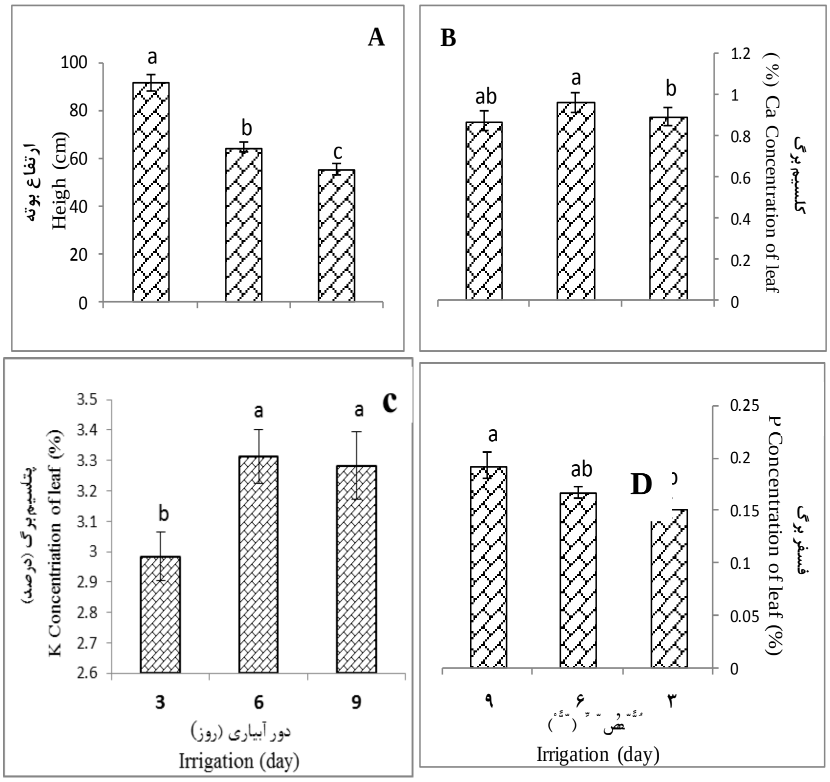
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و ترکیب پیوندی بر میزان عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر برگ گوجه‌فرنگی

Table 3- ANOVA for the effect of irrigation period and grafting combinations on leaf elements concentrations of calcium, magnesium, potassium and phosphorus of tomato

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares Ca	Mg	K	P
دورآبیاری Irrigation period (I)	2	0.052 *	0.004 **	0.791 *	0.010 *
ترکیب پیوندی Graftting combination (G)	5	0.0527 **	0.013 **	0.623 **	0.007 *
G ×I	10	0.026 ns	0.002 **	0.177 ns	0.002 ns
خطا Error	54	0.016	0.000	0.184	0.002
ضریب تغییرات CV (%)	-	14.16	22.56	13.46	27.53

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns غیر معنی‌دار.

* and **: significant at the 5% and 1% of probability levels, and ns : non-significant, respectivety.



شکل ۳- اثر دور آبیاری بر ارتفاع بوته (A)، و غلظت کلسیم (B)، پتاسیم (C) و فسفر برگ (D).

Figure 3- The effect of irigation period on plant height (A), and Ca (B), K (C) and P (D) concentration of leaf (DMRT, *p ≤0.05*)

شکل ٤- اثر ترکیب پیوندی بر ارتفاع بوته (A)، سطح ویژه برگ (B)، و کلسیم (C)، پتاسیم (D) و فسفر (E) برگ گوجه‌فرنگی. D : 'دافنیس'، E: 'ایزابلا' و T: 'توروom'.

Figure 4- The effects of grafting combination on plant height (A), leaf area specific (B), and Ca (C), K (D), and P concentration of leaf (E), D: 'Daphnis', E: 'Ezabella', T: 'Torvum' (*DMRT, p ≤0.05*).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی بیشترین تاثیر خود را بر تولید ماده خشک، رشد برگ و ریشه و مقدار عناصر و رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاه گوجه‌فرنگی داشت. براساس نتایج پژوهش حاضر، مشخص شد که در ترکیب پیوندی دافنیس بر روی پایه توروom اکثر پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی در مقایسه با گیاهان خودپیوندی و یا غیرپیوندی کاهش معنی‌داری داشت که به احتمال زیاد می‌تواند بخاطر اثرات پاکوتاه‌کنندکی این پایه و یا ناسازگاری پیوندی در ترکیب پیوندی فوق باشد. همچنین دیده شد که در بین گیاهان خودپیوندی و غیر پیوندی در اکثر پارامترهای رویشی اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در دور آبیاری ۳ روز مشاهده نشد که حاکی از آن است که اثرات مشاهده شده در ارتباط با تأثیر پایه بوده و ارتباط چندانی با محل پیوندگاه نمی‌باشد.

بر خلاف گزارشات پیشین که استفاده از پایه بادنجان را باعث افزایش فاکتورهای رویشی و فیزیولوژیکی گوجه فرنگی گزارش کرده اند در تحقیق حاضر پایه توروom باعث کاهش و یا بدون تاثیر بر فاکتورهای رویشی بود که می‌تواند به متفاوت بودن ساختار ژنتیکی پایه و پیوندک‌های مورد استفاده و یا رویشی بودن پایه مورد استفاده (تکثیر از طریق قلمه) در این تحقیق باشد. بطور کلی با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که در شرایط تنش خشکی ترکیب پیوندی ایزابلا بر روی پایه توروom از لحاظ فاکتورهای مورد بررسی وضعیت مطلوب‌تری برخوردار بود که توصیه می‌شود در این زمینه پژوهش‌های بیشتری صورت پذیرد.

منابع

1. Ainigar Sadafi, H., Zahedi, B., Mousavi Fard, P., & Moradipour, F. (2015). *The effect of bases on quantitative and qualitative characteristics of two commercial tomato cultivars*. Master Thesis of Lorestan University.
2. Alc-ázar, R., Altabella, T., Marco, F., Bortolotti, C., Reymond, M., Koncz, C., & Tiburcio, A.F. (2010). Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*, *231*(6), 1237-1249. https://doi.org/10.1007/s00425-010-1130-0
3. Arnon, D.I(1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, *24*, 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1
4. Asseng, S., & van Herwaarden, A.F. (2003). Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant Soil*, *256*, 217–239. https://doi.org/10.1023/A:1026231904221
5. Colla, G., Rouphael, Y., Leonardi, & Bie, Z. (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, *127*(2), 147-155. https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2010.08.004
6. Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Salerno, A., & Rea, E. (2010). The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. *Environmental and Experimental Botany*, *68*(3), 283-291. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.12.005
7. Delauney, A.J., & Verma, D.P.S. (2002). Proline biosynthesis and osmoregulation Plants. *The Plant Journal*, *2*, 122-112. https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1993.04020215.x
8. Estefan, G., Sommr, R., & Ryan, J. (2013). *Method of soil, plant and water analysis*. Third Edition. Beirut, Lebanon: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. 250 p.
9. Farooq, M., Vahid, A., Lee, D.J., Ito, O. & Siddique, K.H. (2009). Advances in drought resistance of rice. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *28*(4), 199-217. https://doi.org/10.1080/07352680902952173
10. Germana, C. (1997). Experiences on the response of almond plants (A. *communis* L.) to water stress. *Acta Horticulturae*, *449*, 497-503. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.449.69
11. Ghazanshahi, J(2006). *Soil and plant analysis*. Aeizh Publications, 274p. (In Persian)
12. Gisbert-Mullor, R., Pascual-Seva, N., Martinez-Gimeno, M., Lopez-Serrano, L., Badal Marin, E., Perez-Perez, J., Bonet, L., Padilla, Y.G., Calatayud, A., Pascual, B., & Lopez-Galarza, S. (2020). Grafting onto an appropriate rootstock reduces the impact on yield and quality of controlled deficit irrigated pepper crops. *Agronomy*, *10*,15-29. https://doi.org/10.3390/agronomy10101529
13. Goto, R., de Miguel, A., Ignacio Marsal, J., Gorbe, E., & Calatayud, A. (2013). Effect of different rootstocks on growth, chlorophyll a fluorescence and mineral composition of two grafted scions of tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *36*, 825–835. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.757321
14. Gregorian, V. (2002). *Physiology and methods of grafting*. Amidi Publications, 351 pages.
15. Gupta, A.P., Neue, H.U., & Singh, V.P. (1993). Phosphorus determination in rice plants containing variable manganese contant by the phosphor molybdo vanadate (yellow) and phosphomolybdate (blue) colorometric methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *24*, 1309-1328. https://doi.org/10.1080/00103629309368878
16. Hassani, B., & Seidi, M. (2013). *The effect of drought tolerant rootstocks and different irrigation regimes on the quality and yield of Early Orbata tomatoes*. Master Thesis, Faculty of Agriculture, Ilam University.
17. Huang, Y., Hua, L., Liu, B., Fan, Z., & Bie, Z. (2013). Grafting onto different rootstocks as a means to improve watermelon tolerance to low potassium stress. *Scientia Horticulturae*, *149*(14), 80-85. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.009
18. Isfendiyaroglu, M., & Zeker, E. (2002). The relation between phenolic compound and seed dormancy in *Pistacia* spp. In AKB. E. (ed.). *11 Grema Serr Pistachios and Almond. Chieres optins Mediterraneenes*, *56*, 232-277.
19. Kashi, A., Salehi, R., & Javanpour Heravi, R. (2008). *Grafting technology in growing and producing vegetables.* Agricultural Education Publications, first edition, 212 p.
20. Keshavarznia, R., Shahbazi, M., Mohamadi, V., Hosseini Salekdeh, G., Ahmadi, E., & Mohseni Fard, A. (2014). The role of root structure and physiological traits of barley in response to drought stress. *Iranian Journal of Crop Science*, *45*(4), 553-563. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.202541.654065
21. Kirnak, H., Kaya, C., Tas, E., & Higgs, D. (2001). The Influence of water deficition on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. *Bulgarian Journal Plant Physiology*, *27*(3–4), 34–46.
22. Latifah, V., Widaryanto, E., Maghfoer, M.D., & Arifin. (2021). Economic analysis, growth and yield of grafting tomato varieties for *Solanum torvum* as a rootstock. *African Journal of Agricultural Research*, *17*(5), 733-742.
23. Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Journal Annals of Botany*, *78*, 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134
24. Mahmoudnia Meymand, M., Farsi, M., Marashi, S.H., & Ebadi, P. (2012). Investigation of physiological responses of four tomato species to drought stress. *Journal of Horticultural Sciences* *26*(4), 409-416. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.18252

25. Miguel, A., Maroto, J.V., San Bautista, A., Baixauli, C., Cebolla, V., Pascual, B., & Guardiola, J.L. (2004). The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of Fusarium wilt. *Scientia Horticulturae*, *103*(1), 9-17. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.007
26. Molavi, H., Liaqat, V., & Mohammadi, M. (2012). Optimizing water consumption and determining the sensitivity coefficients of tomatoes under both conditions salinity and drought stress in Karaj region. *Journal of Water and Soil*, *3*(24), 592-583.
27. Patakas, A., Nikolaou, N., Zioziou, E., Radoglou, K., & Noitsakis, B. (2002). The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. *Plant Science*, *163*(2), 361-367. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00140-1
28. Paquin, R., & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une méthode de do-sage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Candian Journal of Botany*, *57*, 1851–1854. https://doi.org/10.1139/b79-233
29. Petran, A., & Hoover, E. (2014). *Solanum torvum* as a compatible rootstock in interspecific tomato grafting. *Jornal of Horticulture*, *1*(1), 1-4. https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000103
30. Rezai, Z. (2016). *The effect of different super absorbent polymer and animal manure ratios on quantitative and qualitative characteristic of fennel under drought stress conditions*. M.Sc. Thesis in Agronomy, Shahrekord, Iran.
31. Rodrigues, J.G., Edvardo, P.M.J., Forner, B., & Angeles, F. (2010). Citrus rootstocks response to water stress. *Sciatica Horticulturae*, *126*, 95-102.
32. Ruiz, J.M., Belakbir, A., López-Cantarero, I., & Romero, L. (1997). Leaf-macronutrient content and yield in grafted melon plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Scientia Horticulturae*, *71*(3), 227-234. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00106-4
33. Sadeghzadeh-Ahari, D., Hass, M.R., Kashi, A.K., Amiri, A., & Alizadeh, A. (2010). Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian Fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions. *African Journal of Plant Science*, *4*(2), 12-20.
34. Salisbury, F.B., & Ross, C.B. (1991). *Plant physiology*. Wadasworth publishing ompany, 316-321.
35. Shahabi, M.R., Zakeri, A., & Shirzadi, H. (2013). The effect of different grafting methods on the growth and yield of RedTop grafted tomatoes, the first national electronic conference "*New Topics in Horticulture", Jahrom University*, 455-459.
36. Shahbazi, P., Karimi, N., & Ghasempour, H.R. (2014). *Investigation of the effect of drought stress on biochemical and physiological processes of two varieties of Lycopersicun esculentum* L., *Kali and Early Orabana*. Master Thesis, Faculty of Agriculture, Razi University.
37. Shokrani, F., & Pirzad, A. (2012). Evaluation of biological nitrogen influence on oil variations and nutrient content of *Calendula officinalis* L. under drought stress conditions. *Middle-East Journal of Scientific Research*, *11*(11), 1550-1555. https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2012.11.11.1632
38. Smolinski, A.T., & Pestka, J.J. (2003). Modulation of lipopolysaccharide-induced proinflammatory cytokine production in vitro and in vivo by the herbal constituents apigenin (chamomile), ginsenoside Rb1 (ginseng) and parthenolide (feverfew), *Food Chemical Toxicology*, *41*1381-1390. https://doi.org/10.1016/s0278-6915(03)00146-7
39. Suchoff, D.H., Gunter, C.C., & Schultheis, R.J. (2018). Rootstock effect on grafted tomato transplant shoots and root responses to drying soils. *Horticulture Science*, *53*(11), 1586-1592. https://doi.org/10.21273/HORTSCI13215-18
40. Urlic, B., Runjic, M., Zanic, K., Mandusic, M., Vuletin Selak, G., Paskovic, I., & Dumicic, G. (2020). Effect of partial root-zone drying on grafted tomatoin commercial greenhouse. *Horticultural Science*, *47*(1), 36-44. https://doi.org/10.17221/130/2018-HORTSCI
41. Wang, Y.Q. (2011). Plant grafting and its application in biological research. *Chinese Science Bulltein*, *56*, 3511–3517. https://doi.org/10.1007/s11434-011-4816-1
42. Waraich, E.A., Ahmad, R., Ashraf, M., Saifullah, Y., & Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculture. Scand, Section B Plant Soil Science*, *61*, 291–304. https://doi.org/10.1080/09064710.2010.491954
43. Yetisir, H., Ozdemir, A.E., Aras, V., Candir, E., & Aslan, O. (2013). Rootstocks effect on plant nutrition concentration in different organ of grafted watermelon. *Agricultural Sciences*, *4*(5), 230-237.